

BAB III

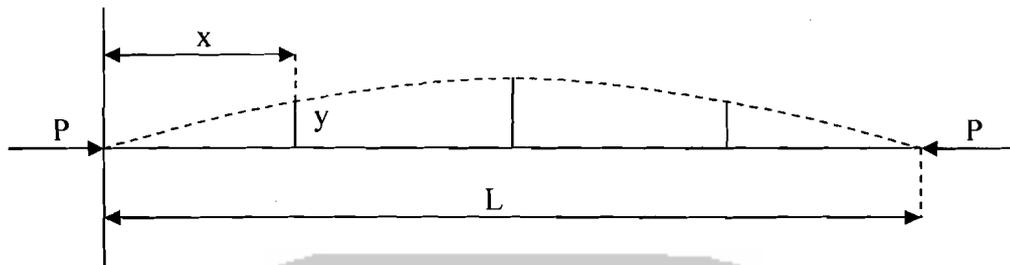
LANDASAN TEORI

3.1. Kolom

Komponen struktur tekan dapat dibuat dari profil tunggal atau profil tersusun (*built up*). Kapasitas tekan dan kekakuan profil tunggal terbatas karena ukuran penampang baja yang tersedia terbatas. Kolom yang memikul gaya tekan dengan beban besar dan memerlukan kekakuan besar, kapasitas profil tunggal tidak memenuhi. Persoalan seperti diatas dapat diselesaikan dengan menggunakan kolom tersusun, kolom tersusun digunakan untuk mendapatkan kolom yang lebih efisien dalam menahan beban dengan kapasitas yang besar.

3.2. Kolom Tunggal

Kolom tunggal adalah komponen struktur tekan yang terbuat dari satu profil. Kapasitas tekan kolom tunggal terbatas karena di pengaruhi oleh banyak faktor antara lain bentuk dan ukuran profil tunggal, panjang kolom dan kondisi ujung-ujung kolom. Akibat pengaruh beban, kolom tunggal dapat melentur dan di dalam penampangnya timbul gaya geser.



Gambar 3.1 Batang Lurus Dibebani Gaya Tekan Aksial

Gambar 3.1 menunjukkan sebuah batang lurus yang kedua ujungnya sendi dan di bebani gaya tekan aksial (P) akibatnya batang melengkung. Anggap penampang batang yang letaknya x dari ujung kiri mengalami pelenturan sebesar y . Akibat beban P dan pelenturan (y), di penampang tersebut bekerja momen lentur.

$$M = -P \cdot y \quad (3.1)$$

Persamaan pelenturan akibat beban (P) dapat dinyatakan :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} \cdot y \quad (3.2a)$$

atau

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{P}{EI} y = 0 \quad (3.2b)$$

Anggap $k^2 = P/EI$, penyelesaian persamaan diferensial linear tingkat dua ini dapat diwujudkan menjadi :

$$y = A \sin kx + B \cos kz \quad (3.3)$$

Dimana A dan B adalah konstanta integrasi yang didapat dari syarat-syarat batas yaitu defleksi adalah nol ($y=0$) apabila $z = L$.

$$0 = A \sin kL \quad (3.4)$$

Pemenuhan Persamaan 3.4 dengan $A = 0$ tidak ada defleksi, $kL = 0$ tidak ada beban luar, dan $kL = n\pi$, yakni syarat terjadinya tekukan. Dengan demikian :

$$\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 = \frac{P}{EI}$$

$$P = \frac{n^2 \pi^2 EI}{L^2} \quad (3.5)$$

Ragam tekukan fundamental, defleksi kurvatur tunggal $y = A \sin \pi z / L$ akan terjadi bila $n = 1$; sehingga :

$$P = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (3.6)$$

atau dinyatakan dalam tegangan tekan rata-rata :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL/r)^2} \quad (3.7)$$

(KL/r) adalah kelangsingan batang, K adalah faktor panjang efektif, $r = \sqrt{I/A}$ (jari-jari inersia) dan I adalah momen inersia. Tampak bahwa tegangan kritis batang tekan berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan, semakin langsing suatu batang maka tegangan kritisnya semakin kecil.

3.2.1 Efek Gaya Geser Pada Kolom Tunggal

Menurut persamaan Euler yang di kemukakan oleh Lambert Tall, 1974 , beban kritis kolom di turunkan dari persamaan pelenturan sebuah batang lurus yang semua seratnya tetap elastis hingga tekuk terjadi tetapi tidak terjadi tekuk lokal, batang tersebut memiliki dukungan sederhana pada ujung-ujungnya dan di beri gaya aksial tekan sentris.

Gaya geser (V) yang timbul pada penampang batang adalah :

$$V = \frac{M_x}{d_x} \quad (3.8a)$$

atau

$$V = P \cdot \frac{d_y}{d_x} \quad (3.8b)$$

Pelenturan total (akibat P dan V) adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{E.I} y + \frac{\beta.P.d^2 y}{A.G.dx^2} \quad (3.9a)$$

atau

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{1}{E.I \left(1 - \frac{\beta.P}{A.G} \right)} y = 0 \quad (3.9b)$$

Penyelesaian persamaan (3.9b) adalah

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E.I}{L^2} \frac{1}{\left(1 + \frac{\beta}{A.G} \frac{\pi^2 E.I}{L^2} \right)} \quad (3.10)$$

dengan

$$\frac{\pi^2 E.I}{L^2} = P_e \text{ (beban tekuk euler)}$$

Andaikan $\frac{\beta}{A.G} = \frac{1}{P_d}$; maka pelenturan akibat gaya lintang dari Persamaan (3.10)

dapat dinyatakan dengan :

$$P_{cr} = \frac{P_e}{1 + \frac{P_e}{P_d}} \quad (3.11)$$

Masing-masing ruas Persamaan (3.11) di bagi dengan luas (A) maka :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E.I}{A.L^2} \frac{1}{\left(1 + \frac{\beta}{A.G} \frac{\pi^2 E.I}{A.L^2}\right)} \quad (3.12)$$

Karena nilai $\frac{I}{A} = i^2$; maka Persamaan (3.12) dapat dinyatakan :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E.I}{(Lk/i)^2} \frac{1}{\left(1 + \frac{\beta}{A.G} \frac{\pi^2 E.I}{A.L^2}\right)} \quad (3.13)$$

Persamaan (3.13) dapat di nyatakan dalam bentuk sederhana sebagai berikut :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E.I}{\left(\alpha \frac{Lk}{i}\right)^2} \quad (3.14)$$

dengan :

$$\alpha = \sqrt{1 + 2(1 + \mu)\pi^2 \beta (Lk/i)^2}$$

Untuk baja $\mu = 0,3$ dan $\beta = 2$ hubungan kelangsingan dengan α pada kelangsingan 50, 70, 100 adalah sebagai berikut :

$$\frac{Lk}{i} = 50 \quad \alpha = 1,01$$

$$\frac{Lk}{i} = 70 \quad \alpha = 1,005$$

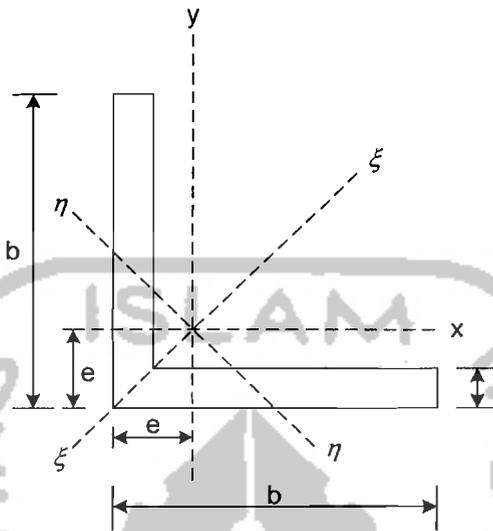
$$\frac{Lk}{i} = 100 \quad \alpha = 1,0005$$

Tampak bahwa, pengaruh gaya lintang terhadap beban kritis kolom batang tunggal relatif kecil. Untuk kelangsingan 50 pengaruh gaya lintang lebih kurang 1%, sedangkan pada kelangsingan 70 pengaruhnya ½ % sehingga untuk tujuan praktis sering diabaikan. Pengaruh gaya geser terhadap kuat tekan kolom pada kolom tunggal tidak terlalu diperhitungkan, untuk kolom tersusun pengaruh gaya geser terhadap kuat tekan kolom sangat berpengaruh.

3.3 Penampang Lintang Profil Siku

a Kolom Tunggal

Sifat penampang dari gabungan profil siku seperti terlihat pada Gambar 3.2 meliputi: luas penampang, momen inersia dan jari-jari inersia dapat dihitung menggunakan Persamaan dibawah ini:



Gambar 3.2 Profil Siku Tersusun

$$A = b \times t + (b-t) \times t \quad (3.15)$$

statis momen terhadap sisi bawah

$$e_x = e_y = \frac{b \times t \times 0,5 \times b + (b-t) \times t \times 0,5 \times t}{b \times t + (b-t) \times t} \quad (3.16)$$

$$c_x = c_y = e - \frac{1}{2} \times t \quad (3.17)$$

$$I_x = I_y = \frac{1}{12} \times b^3 \times t + b \times t \times \left(\frac{1}{2}t + (c_x \text{ atau } c_y) \right)^2 + \frac{1}{12} b \times t^3 + (b-t) \times t \times \left(\frac{1}{2}t + (c_x \text{ atau } c_y) \right)^2 \quad (3.18)$$

$$r_x = r_y = \sqrt{\frac{(I_x \text{ atau } I_y)}{A}} \quad (3.19)$$

$$I_{\text{maks}} = \frac{I_x + I_y}{2} + \sqrt{\left[\frac{I_x - I_y}{2} \right]^2 + (\sum x.y.A)^2} \quad (3.20)$$

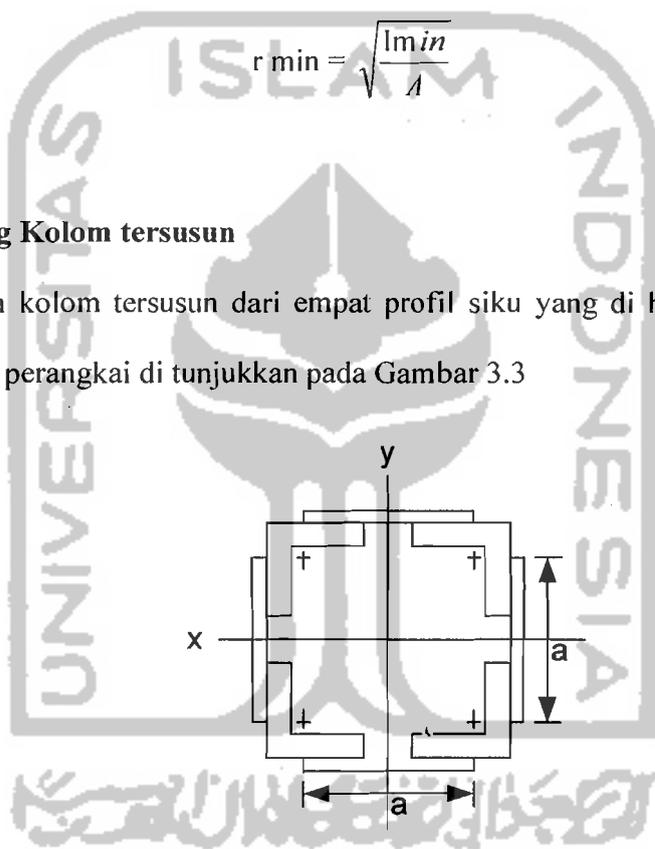
$$r_{maks} = \sqrt{\frac{I_{maks}}{A}} \quad (3.21)$$

$$I_{min} = \frac{I_x - I_y}{2} - \sqrt{\left[\frac{I_x - I_y}{2}\right]^2 + (\sum x.y.A)^2} \quad (3.22)$$

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} \quad (3.23)$$

b. Penampang Kolom tersusun

Sebuah kolom tersusun dari empat profil siku yang di hubungkan dengan batang-batang perangkai di tunjukkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Profil Siku Tersusun

Luas penampang profil gabungan (A_{gab})

$$A_{gab} = 4.A_{profiltunggal} \quad (3.24)$$

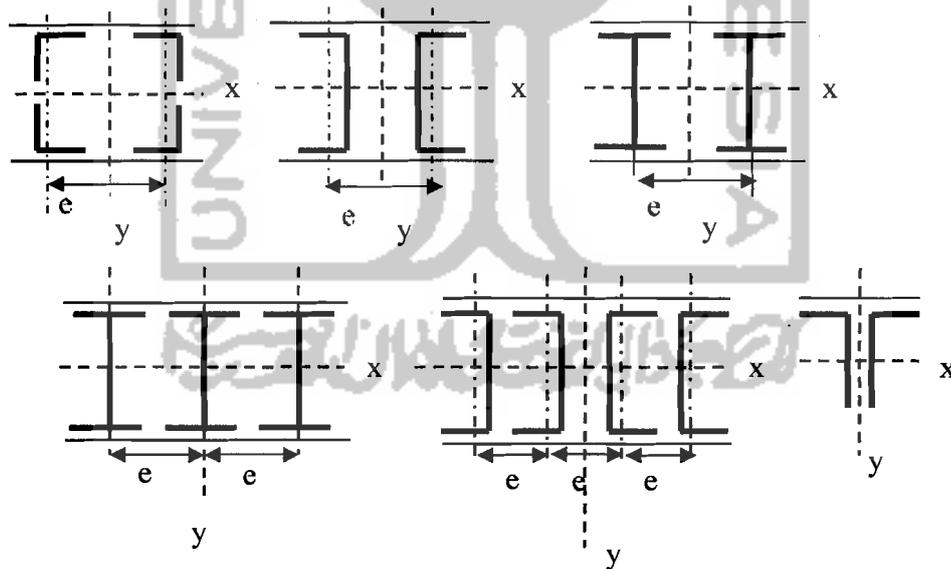
$$I_{x_{gab}} = I_{y_{gab}} = 4 \cdot I_{x_{tunggal}} + 4 \cdot (A_{profil\ tunggal} + (1/2a)^2) \quad (3.25)$$

Jari-jari inersia terhadap sumbu x = sumbu y

$$r_x = r_y = \sqrt{\frac{(I_{x_{gab}} \text{ atau } I_{y_{gab}})}{A_{gab}}} \quad (3.26)$$

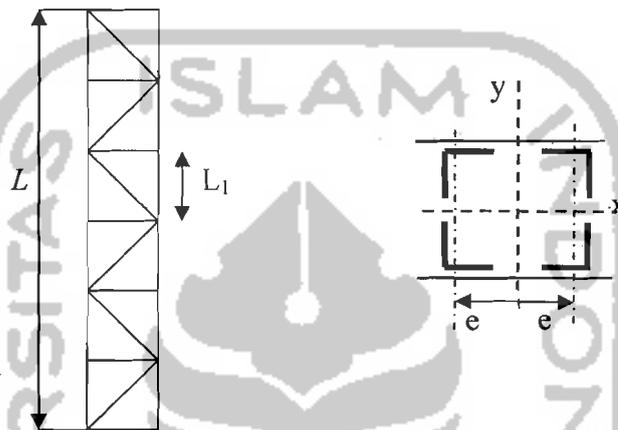
3.4 Kolom Tersusun Prismatic

Kolom tersusun adalah profil gabungan dua batang atau lebih, dimana batang yang satu dengan batang yang lain dihubungkan bersama-sama menggunakan batang-batang penghubung sedemikian rupa sehingga membentuk satu kesatuan. Berbagai susunan profil dapat di lihat dalam Gambar 3.4



Gambar 3.4 Berbagai Macam Profil Tersusun

Untuk membentuk kolom tersusun di perlukan perangkat yang berupa pelat atau batang. Batang perangkat dapat disusun secara diagonal dan kombinasi melintang dan diagonal.



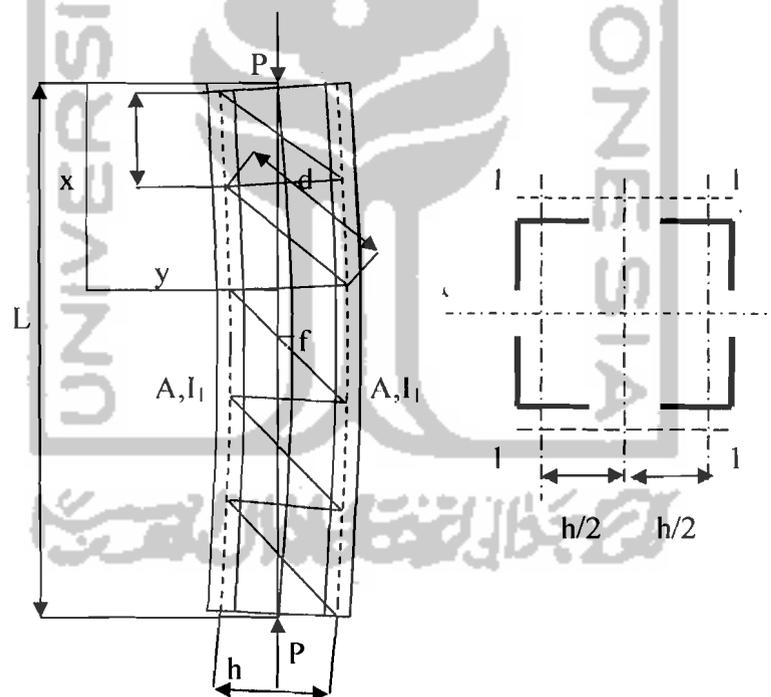
Gambar 3.5 Konfigurasi Batang Perangkat Diagonal

Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan kegagalan pada kolom, diantaranya adalah peristiwa tekuk. Sifat kolom yang mengalami suatu tekuk tertentu di pengaruhi oleh angka kelangsingan, semakin langsing suatu kolom akan mengakibatkan peristiwa tekuk itu dapat terjadi.

Pada kolom atau batang tekan yang panjang dengan beban yang berat, kolom tersusun lebih banyak di gunakan karena lebih hemat di banding menggunakan profil tunggal. Inti dari penggunaan profil tersusun adalah untuk mendapatkan penampang yang mempunyai luas dan momen inersia besar sehingga di dapat kolom yang mempunyai kekakuan dan kapasitas besar.

3.4.1 Efek Gaya Geser Pada Kolom Tersusun Prismatis

Penyambungan antara batang-batang tersusun dengan memakai batang diagonal bermanfaat agar semua komponen bekerja sebagai satu kesatuan. Komponen geser timbul ketika batang tekan melentur. Besarnya pengaruh geser terhadap pengurangan kekuatan kolom sebanding dengan besarnya deformasi yang di timbulkan oleh gaya geser. Kolom tersusun yang di bebani gaya aksial serta mengalami tekuk keseluruhan (Gambar 3.6)



Gambar 3.6. Kolom Tersusun Yang Dibebeani Gaya Aksial

Pengaruh gaya lintang terhadap beban kritis kolom tersusun dengan penghubung diagonal dinyatakan dengan Persamaan Euler yang di kemukakan oleh Lambert Tall, 1974 :

$$P_{cr} = \frac{Pe}{1 + \frac{Pe}{Pd}} \quad (3.27)$$

Dimana kondisi pertama akumulasi energi elastik sedangkan dua kondisi terakhir adalah energi dari batang perangkai.

Momen oada semua titik pada as kolom adalah :

$$M_x = P_{cr}.y = P_{cr}.f \sin \frac{\pi x}{l}$$

Dengan tegangan geser yang merupakan turunan:

$$Q_x = \frac{dM_x}{dx} = P_{cr}.f \frac{\pi}{l} \cos \frac{\pi x}{l}$$

Sehingga :

$$F = \frac{Mx}{h} = \pm P_{cr}.f \frac{\pi}{l} \sin \frac{\pi x}{l} \quad (3.28a)$$

$$D = Qx \frac{d}{h} = \pm P_{cr}.f \frac{d}{h} \frac{\pi}{l} \cos \frac{\pi x}{l} \quad (3.28b)$$

$$B = Qx = \pm P_{cr}.f \frac{\pi}{l} \cos \frac{\pi x}{l} \quad (3.28c)$$

Dengan anggapan $\frac{\pi x}{l} = \frac{2r-1}{2n} \pi$ dimana $r = 1, 2, 3, \dots, n-1$ dan adalah jumlah dari

titik bidang, sehingga :

$$V = \frac{Pcr^2 f^2 c}{2 h^2 E_c A} \sum_{r=1}^n \sin^2 \frac{2r-1}{2n} \pi + \frac{Pcr^2 f^2 d^3 \pi^2 l}{2 h^2 l^2 EA_d} \sum_{r=1}^n \cos^2 \frac{2r-1}{2n} \pi$$

$$+ \frac{Pcr^2 f^2 \pi^2 h}{2 l^2 EA_b} \sum_{r=1}^n \cos^2 \frac{2r-1}{2n} \pi$$

Momen inersia $I_0 = \frac{Ah^2}{2}$, maka :

$$\frac{Pcr^2 f^2 c}{2 h^2 E_c A} = \frac{Pcr^2 f^2 c}{2 E_c I_0}$$

dan

$$\sum_{r=1}^n \sin^2 \frac{2r-1}{2n} \pi = \sum_{r=1}^n \cos^2 \frac{2r-1}{2n} \pi = \frac{n}{2} = \frac{1}{2c} \quad (3.29)$$

Sehingga bentuk persamaan untuk energi tegangan (V) adalah

$$V = Pcr^2 \frac{f^2 l}{4} \left(\frac{1}{E_c I_0} + \frac{d^2 \pi^2}{ch^2 l^2 EA_d} + \frac{h \pi^2}{c l^2 EA_b} \right) \quad (3.30)$$

Persamaan gaya luar :

$$W = Pcr \Delta l = \frac{Pc}{2} \int_0^l y'^2 dx$$

dengan $y' = \frac{\pi}{l} f \cos \frac{\pi x}{l}$, setelah di integralkan di dapat :

$$W = P_{cr} \frac{\pi^2 f^2}{4l} \quad (3.31)$$

Substitusi V dan W dari Persamaan 3.30 dan 3.31

$$\frac{\pi^2}{l} - P_{cr} \left(\frac{1}{E_1 I_0} + \frac{\pi^2 d^3}{l^2 c h^2} \frac{1}{EA_d} + \frac{\pi^2 h}{l^2 c} \frac{1}{EA_b} \right) = 0 \quad (3.32)$$

Sehingga Persamaan tegangan kritis adalah :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_1 I_1}{l^2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_1 I_0}{l^2} \frac{1}{Ech^2} \left(\frac{d^3}{A_d} + \frac{h^3}{A_b} \right)} \quad (3.33)$$

Dari Persamaan 3.33 nilai P_{cr} akan semakin besar bila nilai panjang batang diagonal atau horisontal di bagi dengan luas penampang diagonal atau horisontal juga semakin besar. Jika perangkai sangat kaku $A_d = A_b = \infty$, Persamaan 3.33 akan menjadi tegangan kritis $\frac{\pi^2 E_1 I_0}{l^2}$ dimana tegangan kritis kolom tersusun tersebut mempunyai momen inersia $I_0 = A(h^2)/2$. Momen sebenarnya dari penampang kolom adalah :

$$I = I_0 + 2I_1 \quad (3.34)$$

sehingga :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(kl)^2} \quad (3.35)$$

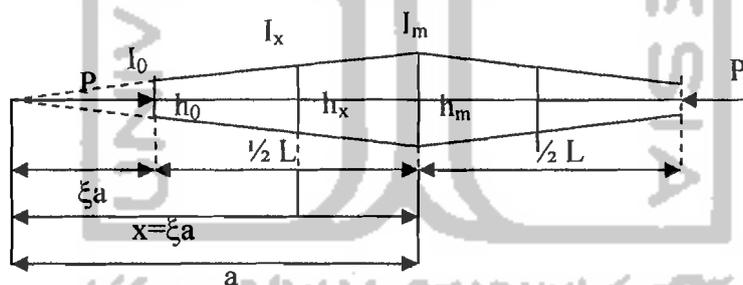
dengan

$$k = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 E_1 I_0}{l^2} \frac{1}{Ech^2} \left(\frac{d^3}{A_d} + \frac{h^2}{A_b} \right)} \quad (3.36)$$

dimana E_t : Modulus elastis kolom, l : panjang kolom. I_1 : panjang elemen batang yang di batasi oleh ujung-ujung batang penghubung, d : panjang batang diagonal, h : panjang batang horizontal, A_d : luas penampang satu batang diagonal, A_b : luas penampang satu batang horizontal. Nilai k dari persamaan 3.35 dianggap satu.

3.5 Kolom Tersusun Non Prismatis

Komponen geser timbul ketika batang tekan melentur. Batang tekan di bedakan dengan berbagai macam bentuk untuk mendapatkan kekuatan kolom yang besar. Berbagai variasi tersebut adalah kolom tersusun non prismatis, yang memiliki gaya geser sehingga dapat mengurangi kekuatan kolom.



Gambar 3.7. Kolom Tersusun Non Prismatis Yang Dibebani Gaya Aksial

Dengan I_m sebagai momen pada titik tengah dan I_x nilai titik acuan pada garis x , sehingga

$$I_x = I_m \frac{h_x^2}{h_m^2} = I_m \frac{x^2}{a^2} = I_m \xi^2 \quad (3.37)$$

dimana $\xi = x / a$ sebagai dimensi. Persamaan differensial kolom adalah $E, I_x \frac{d^2 y}{dx^2} + Py = 0$

Substitusi I_x dari Persamaan 3.37 dan memperkenalkan

$$\alpha^2 = \frac{Pa^2}{E, I_m} \quad (3.38)$$

di dapat Persamaan differensial dengan koefisien variabel :

$$\xi \frac{d^2 y}{d\xi^2} + \alpha^2 y = 0 \quad (3.39)$$

Solusi dari Persamaan tersebut, yang berisi dua variabel yang konstan A dan B sehingga menjadi Persamaan:

$$y = \sqrt{\xi} [A \sin (k \log_e \xi) + B \cos (k \log_e \xi)] \quad (3.40)$$

sehingga nilai k di dapat :

$$k = \sqrt{\alpha^2 - \frac{1}{4}} \quad (3.41)$$

Substitusi dari Persamaan 3.40 didapat syarat batas :

$$\xi = \xi_0 = \frac{h_0}{h_m} : y = 0$$

$$\xi = 1 : \frac{dy}{d\xi} = 0$$

didapatkan dua persamaan yang konstan A dan B :

$$A \sin \left(k \log_e \frac{h_0}{h_m} \right) + B \cos \left(k \log_e \frac{h_0}{h_m} \right) = 0$$

$$Ak + \frac{B}{2} = 0$$

Penyelesaian dari variabel A dan B merupakan faktor penentu, yaitu :

$$\tan \left(k \log_e \frac{h_0}{h_m} \right) - 2k = 0 \quad (3.42)$$

yang mempunyai batas dari nilai akar k , nilai k yang paling kecil k_1 sebagai P_c . Dari

Persamaan 3.38 dan 3.42 Persamaan tekuknya menjadi :

$$P_{cr} = \frac{E_t I_m}{4a^2} (1 + 4k_1^2)$$

Sehingga :

$$P_{cr} = \mu \frac{\pi^2 E_t I_m}{l^2} \quad (3.43)$$

dengan μ :

$$\mu = \frac{1 + 4k_1^2}{4\pi^2} \left(\frac{l}{a} \right)^2 = \frac{1 + 4k_1^2}{\pi^2} \left(1 - \frac{h_0}{h_m} \right)^2 \quad (3.44)$$

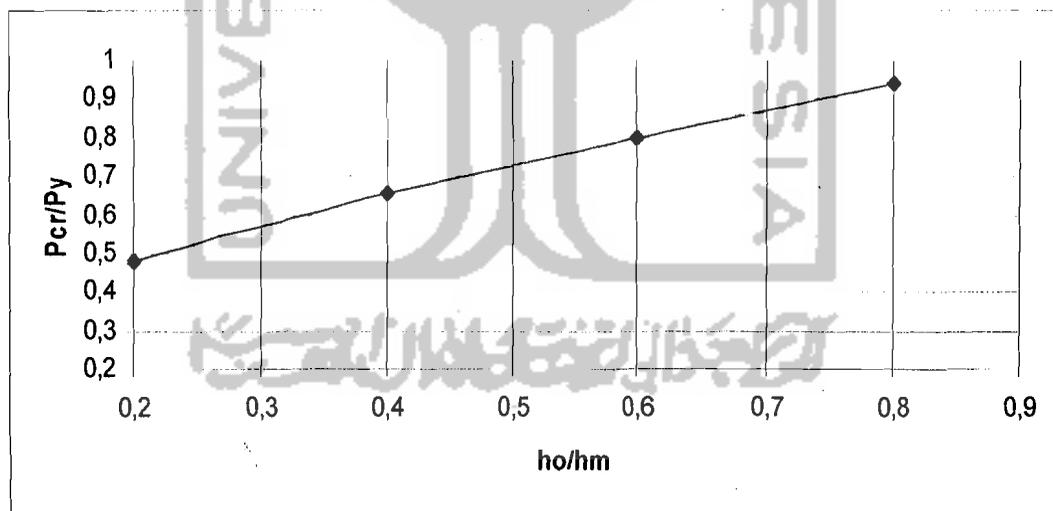
Tabel 3.1 Perbandingan nilai h_0/h_m

ho/hm	0	0,2	0,4	0,6
μ	0,101	0,449	0,610	0,749

Dengan beban kritis P_{cr} , kolom akan mengalami tekuk baik dari potongan melintang, terdapat momen inersia $I = \mu I_m$.

Persamaan diatas menjelaskan bahwa jarak antar perangkai mengakibatkan perbedaan kekuatan kolom. Semakin panjang jarak perangkai maka semakin kecil kekuatan kolom.

Jika dari persamaan (3.43) nilai $h_0/h_m = 0.2, 0.4$ dan 0.6 dan nilai momen inersia dianggap satu satuan maka dapat dibuat grafik perbandingan P_{cr}/P_y dengan h_0/h_m sebagai berikut (Gambar 3.8):



Gambar 3.8 Perbandingan Antara Beban Kritis – h_0/h_m

3.6 Hipotesis

Pada kolom tersusun dengan variasi h_0/h_m akan mempengaruhi nilai μ .

Semakin besar nilai h_0/h_m maka nilai P_{cr} (nilai beban kritis) semakin besar. Beban kritis yang besar akan mengakibatkan tegangan kritis yang besar sehingga mengakibatkan tekuk.

